

RELAÇÃO ENTRE BATIMETRIA E GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO NO RESERVATÓRIO DO LOBO (ITIRAPINA/SP)

Denise Parizotto¹; Mariana Abibi Guimarães Araujo Barbosa²; Gabriela Leite Neves³; Phelipe da Silva Anjinho⁴; Allita Rezende dos Santos⁵; Thiago Alves dos Santos⁶, & Frederico Fábio Mauad⁷

ABSTRACT – To serve water users and contribute to socioeconomic development, reservoirs are deployments that can impact the environment and cause mainly silting problems. The quantification of silting is based on bathymetric surveys to determine the amount of material deposited. More, in the context of quality, the deposited sediment is a compartment that can retain elements according to the particle size and, of course, due to other conditions. In this sense, the objective of this study is to discuss the results of the bathymetry and granulometric data of the sediment in the Lobo reservoir (Itirapina/SP), regarding sediment quality conditions. The bathymetric survey follows the guidelines proposed by the national regulatory agencies and the granulometric data were analyzed from samples in 3 regions of the reservoir, determined as Rio, Centro and Barragem. The map generated by the bathymetry characterizes the morphology of the terrain and points to upstream areas as those most affected by sediment deposits; and the granulometric analysis characterizes the sediment, identifying, in general, higher proportions of silt particles. With this, it can be inferred about a good state of conservation of the quantity and quality of the available water in Lobo reservoir, regarding the water-sediment interaction in this environment. The relationship between the parameters analyzed is evident, as well as the need and importance of complementary studies for better management of water resources.

Palavras-Chave – assoreamento; frações granulométricas; reservatórios

1) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: deniseparizotto@usp.br, (16) 3371 – 8255

2) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: mariana.abibi@usp.br, (16) 3371 – 8255

3) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: gabriela.leiteneves@usp.br, (16) 3371 – 8255

4) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: phelipe.anjinho@usp.br, (16) 3371 – 8255

5) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: allita@usp.br, (16) 3371 – 8255

6) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: thiagokado@hotmail.com, (16) 3371 – 8255

7) Centro de Recursos Hídricos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, Itirapina (SP), e-mail: maudffm@sc.usp.br, (16) 3371 – 8255

1 - INTRODUÇÃO

A construção de barragens são importantes obras para países com uma boa disponibilidade hídrica, como o caso do Brasil. A compensação das barragens se deve principalmente na geração de energia elétrica e ao abastecimento público. No entanto, essa atividade antrópica é a mais impactante para o ciclo hidrossedimentológico.

Os reservatórios são importantes para o desenvolvimento socioeconômico de um estado devido aos seus diversos serviços oferecidos à população, no entanto, sua implantação modifica os cursos naturais dos rios, alterando o transporte de sedimentos e diminuindo sua capacidade de armazenamento. Dessa forma, podem ocorrer problemas ambientais como o assoreamento e a retenção de compostos químicos, que reduzem a vida útil do empreendimento e causam problemas na qualidade da água, afetando os usos múltiplos (MIRANDA; SCARPINELLA; MAUAD, 2013).

A quantificação do assoreamento é realizada por estudo batimétrico, que consiste na medição da profundidade de pontos no leito de reservatórios em seções transversais e longitudinais. Tais dados permitem a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e, assim, estimar o volume de água útil e a deposição de sedimento em todo o reservatório (CARVALHO *et al.*, 2000, ESTIGONI *et al.*, 2009, COSTA 2012).

O estudo da qualidade do sedimento é importante para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. O tamanho das partículas - materiais grosseiros e finos - que constituem os sedimentos podem oferecer informações quanto a origem, transporte e deposição nos cursos d'água (SILVA, 2019). Além disso, em termos de qualidade, é importante avaliar a granulometria do sedimento depositado, devido a sua integração e interação com a qualidade do sistema hídrico (BRANDÃO *et al.*, 2011).

A distribuição granulométrica tem um papel importante na qualidade do ambiente. Segundo os autores Rzetala, Babicheva e Rzetala (2019), muitos estudos comprovaram que a distribuição granulométrica influencia no transporte e na acumulação dos metais pesados dos solos. A composição mineralógica, os agentes externos e as atividades antrópicas são fatores de mobilidade dessas partículas (CARVALHO, 2008).

Os sedimentos finos são mais propensos a reter contaminantes (SIMPSON *et al.*, 2005), especialmente as frações de silte e argila, pois formam sítios de ligação capazes de adsorver espécies metálicas, por exemplo (FRASCARELI, 2016). O compartimento ativo da granulação fina é vulnerável à remobilização de poluentes entre a interface água-sedimento sob determinadas condições (SOUZA, *et al.*, 2015), principalmente condições como, a dimensão granulométrica, o potencial hidrogeniônico (pH) e os íons presentes, de ferro e alumínio (SANTIAGO; CUNHA-SANTINO, 2014, FRASCARELI *et al.*, 2016).

O reservatório do Lobo (Itirapina/SP) é um ambiente amplamente estudado, mas que carece de estudos mais recentes no que envolve questões sedimentológicas. Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo analisar o mais recente levantamento batimétrico realizado no reservatório e dados de granulometria, a fim de caracterizar a heterogeneidade da deposição de sedimentos e inferir sobre a qualidade do sedimento do leito.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Área de estudo

O reservatório do Lobo está localizado na porção central do Estado de São Paulo (Figura 1) e sua bacia de contribuição pertence à Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo nº 13 (URGHI 13). Os principais cursos d'água da bacia, afluentes ao reservatório, são os córregos Perdizes Geraldo e os rio Itaqueri e ribeirão Lobo.

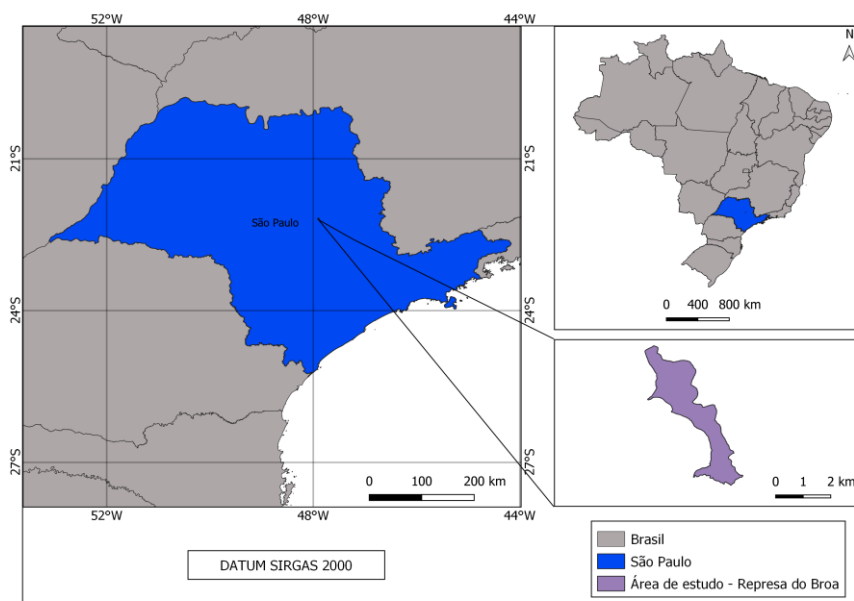


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: IBGE (2017), MATOS (2012), elaborado pelo autor.

O reservatório do Lobo foi construído na década de 1930 visando o aproveitamento hidrelétrico e, segundo Estigoni et al. (2014), se tornou atração turística regional na década de 1970. Atualmente, seus usos incluem geração de energia elétrica e recreação; e para atender a tais usos, a Usina do Lobo deve manter um nível de montante entre 703,00 e 703,30 m.

2.2 - Batimetria

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (2013) orienta a realização de levantamentos batimétricos em reservatórios, padronizando procedimentos e equipamentos, como parte do

cumprimento da Resolução Conjunta nº03 de 2010 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010). Com isso, o planejamento do levantamento no reservatório do Lobo definiu em 100 metros a equidistância entre os transectos.

Neste estudo, utilizou-se o ecobatímetro monofeixe Bathy-500MF Survey Echo Sounder da marca SyQwest, conectado ao transdutor modelo P/N 01540; e conjunto de controladora, modelo CS10, e antenas receptoras GS15 da marca Leica, que dispõe da tecnologia *Differential Global Positioning System* (DGPS) RTK. A integração dos dados de profundidade e posicionamento durante a coleta foi realizada por meio do programa de levantamento hidrográfico HYPACK®.

A campanha foi realizada entre os meses de setembro e outubro de 2018. Por meio do programa ArcGIS 10.3.1v, os pontos da batimetria foram interpolados, gerando o MDE do leito do reservatório do Lobo.

2.3 - Análise granulométrica

Os processos de sedimentação são complexos e, neste caso, os sedimentos que se depositam por influência dos reservatórios se estendem a montante e jusante, devido a distribuição não uniforme das partículas de natureza grosseira e fina (CARVALHO *et al.*, 2000). Desta forma, a caracterização da granulometria é mais representativa quando considera diferentes condições de deposição no fundo do reservatório.

Nessas condições, no estudo realizado por Frascareli (2016) foram amostrados pontos em três regiões do reservatório do Lobo: 1) ponto Rio, na região mais à montante da área do reservatório; 2) ponto Centro, na região central; e 3) ponto Barragem, na região mais à jusante. As amostras foram coletadas com dragas do tipo Lens (400 cm²) dos sedimentos superficiais de fundo (profundidade de 0-4 cm).

A análise granulométrica foi baseada pelo método de Meguro (2000), o qual, de acordo com Frascareli (2016), consiste na separação das partículas maiores que 2 mm por tamisação (peneiramento) e de sedimentação constante para partículas inferiores a 2 mm.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Batimetria e deposição de fundo

O mapa do leito do reservatório do Lobo, representado pelo MDE da Figura 2, apresenta a morfologia do terreno de fundo. A escala de cores evidencia o vale do terreno, indicando o percurso natural do curso d'água na ausência do reservatório.

As dimensões principais do reservatório são 6,2 km de comprimento, profundidade máxima de 11,8 m, profundidade média de 4,7 m, área de superfície de 5,6 km² e volume de 23,8 hm³;

referentes ao nível d'água da linha de contorno, que representa um nível médio de operação do reservatório.

A avaliação do assoreamento aponta para deposições pouco significativas em relação a alteração da capacidade de armazenamento. No entanto, áreas próximas às bordas e, principalmente, na região à montante apresentam os maiores depósitos (BARBOSA, 2019).

A localização dos pontos de análise granulométrica, também apresentados na Figura 2, indica uma distribuição espacial satisfatória para a coleta, abrangendo as diferentes regiões do reservatório. A sobreposição dos pontos de coleta sobre o mapa do MDE permite determinar a profundidade de cada amostra, sendo: 1) ponto Rio: 2,5 m; 2) ponto Centro: 6,3 m; e 3) ponto Barragem: 6,2 m.

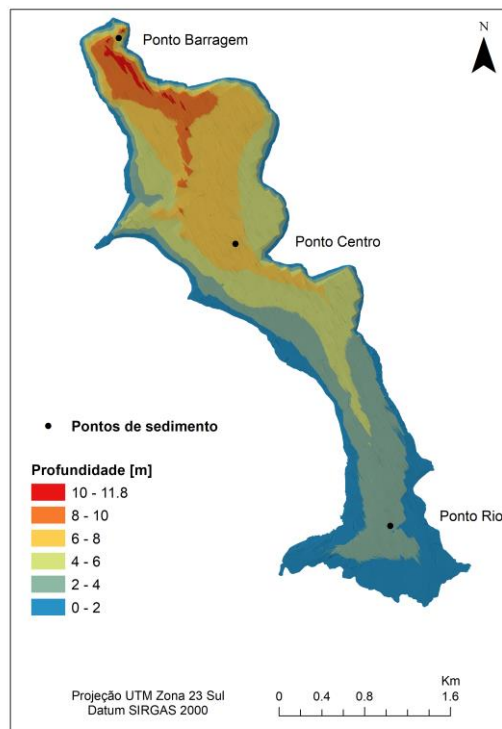


Figura 2 – MDE do reservatório do Lobo e localização dos pontos de análise granulométrica.

3.2 - Análise granulométrica

Na tabela 1 são apresentados os dados médios das frações granulométricas encontrados por Frascareli (2016) nos pontos Rio, Centro e Barragem.

Tabela 1 – Dados médios das frações granulométricas

Granulometria	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa
Média (g)	1,08	7,76	1,11	0,37

Fonte: Adaptado de Frascareli (2016)

De acordo com Frascareli (2016) a presença da fração silte foi crescente no sentido de montante a jusante do reservatório. Após o silte, as partículas de areia fina e argila foram as mais presentes nos pontos.

A análise granulométrica para as frações de silte e argila (<63 μm) demonstrou que o fato das amostras serem extraídas nas três regiões adotadas, o material fino pode acumular em zonas de leito do reservatório ou mantidas em suspensão.

Das areias analisadas, a areia fina apresenta maior presença nos pontos. Esse material por ser mais fino que as demais areias (média e grosseira) pode ser carregado conforme a energia do fluxo, até adentrar no reservatório. Por outro lado, as partículas grosseiras por serem mais pesadas são primeiramente depositadas no reservatório, o que justifica a menor presença da areia grossa nos dados dos pontos amostrados.

3.3 - Relação da batimetria e análise granulométrica

O depósito de sedimentos no leito do reservatório do Lobo é quantitativamente pouco significativo e, ainda, as características granulométricas do sedimento depositado mostram a prevalência de partículas de silte no material coletado. Desta forma, pode-se inferir que a baixa ocorrência de materiais mais finos favorece o estado de qualidade do sedimento e, conseqüentemente, da água do reservatório (FRASCARELI, 2016, BARBOSA *et al.*, 2019).

A caracterização granulométrica corrobora o comportamento da deposição de partículas neste ambiente, que ocorre principalmente a montante do fluxo, onde são regiões mais suscetíveis ao acúmulo de partículas mais pesadas, como silte e areia fina. Como apontado, proporcionalmente, os maiores depósitos de silte se encontram no ponto Rio, região a montante do reservatório, com maior espessura da camada de sedimentos depositados. E a menor proporção de silte é encontrada no ponto Barragem, onde há menor deposição e prevalecem partículas mais finas.

A baixa concentração de partículas de argila no sedimento e a não identificação de depósitos desse tipo granulométrico mais a jusante, onde geralmente ocorrem, é justificada pela caracterização dos solos da bacia de contribuição do reservatório do Lobo. A área é composta majoritariamente por solos com alta porcentagem de silte e areia, como o neossolo quartzarênico, gleissolo e latossolo vermelho-amarelo, segundo a carta pedológica da região (IAC, 1981).

4 - CONCLUSÃO

A avaliação da deposição de sedimentos por meio da batimetria e a análise granulométrica do material depositado, permitem inferir sobre a qualidade do ambiente do reservatório conforme as condições da interface água-sedimento e do tamanho das partículas presentes.

O reservatório do Lobo apresenta depósitos de sedimentos quantitativamente pouco significativos e qualitativamente caracterizados em sua granulometria pela parcela de silte. De montante a jusante, a relação é proporcional entre a espessura do depósito e a quantidade de silte no sedimento.

Desta forma, a combinação entre dados de batimetria e dados de caracterização granulométrica se mostram eficientes na caracterização do estado de qualidade do sedimento, precedendo e indicando a necessidade de estudos mais detalhados para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

BIBLIOGRAFIA

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Orientações para atualização das curvas cota x área x volume. Brasília: ANA, SGH, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Resolução Conjunta Nº 03, de 10 de agosto de 2010. Brasília: ANEEL; ANA, 2010.
- BRANDÃO, C. J. et al. (2011). *“Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos”*. CETESB, São Paulo; Agência Nacional das Águas, ANA, Brasília. 325 p.
- BARBOSA, M. A. G. A. (2019). *“Avaliação do assoreamento no reservatório do Lobo – Itirapina/SP: comparação entre os levantamentos batimétricos de 2010 e 2018”*. São Carlos, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 95 p.
- BARBOSA, M. A. G. A.; Anjinho, P.S.; NEVES, G.L.; GUIMARAES, T. T.; SANTOS, A. R.; PARIZOTTO, D.; MAUAD, F. F. *“Relação entre dados de batimetria e qualidade da água no Reservatório do Lobo, Itirapina/SP”*. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos., 2019.
- CARVALHO, N. O. (2008). *“Hidrossedimentologia Prática”*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 599 p.
- CARVALHO, N. O., FILIZONA JÚNIOR, N. P., SANTOS, P. M. C., LIMA, J. E. F. W. (2000). *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios* – Brasília: ANEEL. 140 p.
- COSTA, L. F. (2012). *“Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados na determinação de taxas de assoreamento de reservatórios”*. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 124 p.
- ESTIGONI, M. V.; MIRANDA, R. B.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F. (2009). *“Levantamento batimétrico em reservatório de grande porte destinado à usos múltiplos, estudo de caso: UHE Nova Avanhandava (São Paulo, Brasil)”* in IX Seminário Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua, Valencia/ España, Nov 2009, pp. 1-13.

- ESTIGONI, M. V.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F. "Assessment of the accuracy of different standard methods for determining reservoir capacity and sedimentation". *Journal of Soils and Sediments*, v.14, p. 1224-1234. 2014.
- FRASCARELI, D. (2016). "Distribuição espacial, biodisponibilidade e toxicidade de metais em sedimentos superficiais de reservatórios do estado de São Paulo". Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 146 p.
- IAC. Instituto Agrônomo De Campinas. (1981). *Carta pedológica da quadricula de São Carlos (SF-23-Y-A-1)*. 1:100000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>> Acesso em: 08 jul 2020.
- MATOS, A. J. S. (2012). "Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional "CAV-NH"". São Carlos, 2012. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 125 p.
- MEGURO, M. (2000). Métodos em Ecologia. São Paulo. *Apostila de Metodologias para a disciplina BIE - 321 Ecologia Vegetal* - Instituto de Biociências, USP, p. 117.
- MIRANDA, R. B.; SCARPINELLA, G. A.; MAUAD, F. F.(2013). "Influência do assoreamento na capacidade de armazenamento do reservatório da usina hidrelétrica de Três Irmãos (SP/Brasil)". *Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, v. 34, n. 2, p. 69-80.
- RZETALA, M.; BABICHEVA, V. A.; RZETALA, M. A. (2019). "Composition and physico-chemical properties of bottom sediments in the southern part of the Bratsk Reservoir (Russia)". *Nature Scientific Reports*, v. 9, p. 1-9.
- SANTIAGO, C. D.; CUNHA-SANTINO, M. B. (2014). "Avaliação preliminar da qualidade dos sedimentos de duas nascentes, Córrego Espreado e Rio Monjolinho, São Carlos – SP". *Revista de Ciências Ambientais*, v. 8, n. 1, p. 77-92.
- SILVA, P. R. B. (2019). "Potenciais riscos associados à qualidade de sedimentos em zonas de prospecção mineral: Rio da Várzea, Rio Grande do Sul – Brasil". São Carlos, 2019. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 174 p.
- SIMPSON, S. I.; BATLEY, G. E.; CHARITON, A. A.; STAUBER, J. L.; KING, C. K.; CHAPMAN, J. C.; HYNE, R. V.; GALE, S. A.; ROACH, A. C.; MAHER, W. A. (2005). "Handbook for Sediment Quality Assessment". Environmental Trust, CSIRO, 117 p.
- SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. (2015). "Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão". *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, v. 3, n. 1A, p. 1-13.